

Knorr, A. G., Willacker, L., Hermsdörfer, J., Glasauer, S., & Krüger, M. (2016, March 21). Influence of Person- and Situation-Specific Characteristics on Collision Avoidance Behavior in Human Locomotion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. Advance online publication. <http://dx.doi.org/10.1037/xhp0000223>

人間の運動における衝突回避行動に人や状況に応じた特徴が与える影響

Introduction

- 日常生活の中で歩行者同士が衝突することは非常に少なく、歩行者は共通の戦略を用いて他者との衝突を回避していると考えられる (Basili et al., 2013)。
 - 衝突のリスクを最小化するための歩行者の貢献度は、必ずしも均等である必要はなく、横断状況により、異なる役割分担に依存するようだ (Olivier, Marin, Crétual, Berthoz, & Pettré, 2013)。
- 衝突回避行動をモデル化する理論的アプローチの多くは、横断状況を通じて変化するパラメータ、例えば、ヘディング角度、その変化率、衝突までの推定時間などを用いている (Fajen, 2013; Fajen & Warren, 2007; Pham, Hicheur, Arechavaleta, Laumond, & Berthoz, 2007; Tresilian, 1999)。
- 状況に応じた情報だけでなく、相手の性別や身長など、人に応じた情報も視覚的に認識することができる。
- 性格や気分など、直接観察することができず、推定しなければならない他の人固有の特性は、個人間の調整タスクの文脈ではまだ考慮されていない。
- しかし、多くの研究が、自然主義的な (Guy, Kim, Lin, & Manocha, 2011; Wolff, 1973) またはポイントライトディスプレイ (Montepare & Zebrowitz-McArthur, 1988; Thoresen, Vuong, & Atkinson, 2012) によるその人の歩行の観察に基づいて、その人の性格や気分を判断することができることを示している。
 - 直線的な歩き方や速い歩き方は攻撃性が高い、回避的な歩き方は内気な性格と評価される (Guy et al. 2011)。
 - Thoresen ら (2012) は、歩行が人格特性の重要なマーカーとして考えられる。
 - しかし、歩行者同士の衝突回避を成功させるための対人調整を考えると、そのようなパラメータがどの程度影響するかはまだ明らかにされていない。
- 本研究の目的は、人間の運動における衝突回避行動に、個人的特性と状況的特性がどの程度影響するかを、役割帰属や課題をうまく解決するための役割依存的な

貢献などの対人調整の側面に特に焦点を当てて調べることである。2つの特性のうちどちらか一方に焦点を当て、2つの実験を行った。

Experiment 1

- 目的：個人の心理的・身体的特性が歩行者の衝突回避行動に与える影響を明らかにすることだ。
 - 歩行者の性格、性別、身長が、他の横断者を避ける戦略に影響を与えることを提案し
 - 経路調整、速度調整、交差順序、最小通過距離などの衝突回避戦略の選択と、支配性、攻撃性、危害回避などの個人の性格特性との関係を仮説とした
- 方法
 - 参加者：20人
 - Group 1：10人（男性5人 女性5人）
 - 実験環境に慣れている
 - Group 2：10人（男性5人 女性5人 女性被験者1名は、データセットに不備があったため、さらなる分析から除外された）
 - 実験環境に慣れていない
 - それぞれのグループ内の被験者が異なる物理的特性がるように構成されているが、グループ間の平均的な物理的特性は互いに有意な差がない。

Table 1
Personal Characteristics and Scaled Personality Research Form (PRF) Personality Traits of Both Walking Groups are Reported as Well as the Correlations (Corr) Between Those Characteristics and the Assessed Walking Parameters

Variable	Group #1		Group #2		Corr MD (ROC Trials) <i>r, p</i>	Corr PA (ROC Trials) <i>r, p</i>	Corr SA (ROC Trials) <i>r, p</i>	Corr CO (all Trials) <i>r, p</i>
	<i>M ± SD</i>	Range	<i>M ± SD</i>	Range				
Characteristics								
Age	24.3 ± 1.6 years	22–27	29.1 ± 6.6 years	21–45	.17, .50	-.33, .16	.13, .60	-.12, .63
Height	175.2 ± 8.7 cm	162–189	176.2 ± 12.0 cm	160–190	.38, .11	-.38, .10	-.05, .85	-.23, .36
Weight	65.2 ± 10.7 kg	54–83	67.4 ± 12.0 kg	49–85	.20, .41	-.53, .02	-.10, .68	-.05, .84
Traits								
Achievement	6.5 ± 1.4	4–8	5.2 ± .9	3–6	.00, .99	.06, .81	-.03, .92	-.01, .96
Affiliation	3.5 ± 2.7	1–9	4.6 ± 2.1	1–7	-.05, .83	-.15, .54	-.23, .34	-.11, .65
Aggression	5.3 ± 1.4	3–7	4.2 ± 2.0	1–8	.18, .46	-.58, .01	-.09, .72	-.48, .04
Dominance	6.2 ± 1.2	4–7	4.9 ± 1.1	3–6	.08, .75	.08, .74	-.07, .77	.20, .42
Endurance	5.5 ± 2.2	1–9	5.2 ± 1.0	4–7	.10, .70	.24, .31	.34, .16	.38, .11
Exhibition	4.5 ± 1.3	2–7	4.8 ± 1.9	1–7	.21, .39	-.56, .01	.19, .45	.02, .92
Harm avoidance	4.8 ± 2.0	1–8	4.6 ± 1.4	3–7	.10, .69	-.03, .92	-.08, .74	.23, .34
Impulsivity	4.4 ± 2.2	1–8	4.3 ± 1.6	2–7	.07, .76	-.27, .26	-.06, .82	-.19, .44
Nurturance	6.5 ± 1.6	3–9	4.9 ± 1.7	2–7	.25, .30	.11, .64	-.03, .89	-.53, .02
Order	4.7 ± 1.7	2–7	4.2 ± 1.5	2–8	.15, .54	.08, .98	.10, .70	.23, .35
Play	5.8 ± 1.2	3–7	5.2 ± 1.6	3–7	.15, .53	-.29, .23	.29, .23	-.27, .26
Social recognition	5.2 ± 1.4	3–7	5.7 ± 1.6	3–9	-.21, .38	-.04, .88	-.02, .93	-.38, .11
Succorance	4.6 ± 2.1	2–9	5.2 ± 1.9	1–8	-.02, .93	-.10, .68	.09, .72	-.29, .23
Understanding	6.1 ± 2.3	2–8	6.0 ± 1.8	2–8	-.15, .54	.42, .07	.13, .60	.25, .31

Note. MD = minimum distance; PA = path adjustment; SA = speed adjustment; CO = crossing order. The critical level of significance was set to $p < .002$ to account for multiple comparisons.

- 実験課題と手順

- 被験者のペアは、あらかじめ設定されたスタート地点から固定されたゴール地点まで、スタート信号の後に同時に歩き出す。
- 歩行距離約 7m で、そのうち中央部の 5.5m を追跡した。
- スタート地点とゴール地点における 2 人の被験者の距離は 3m であり、約 3.5m 後に 60° の角度で交差することになる。
- 被験者には、自分の好きな自然な速度で歩きながら相手と衝突しないようにすることと、お互いに言葉でコミュニケーションをとらないようにする。
- Group 1 の被験者は Group 2 の被験者と 3 回連続して歩行し、合計 90 種類の歩行ペア、270 回の試行を記録した。
- 被験者の胸と肩にマーカーを付き、8 台のカメラを搭載した光学式モーショントラッキングシステム (Qualisys Motion Capture Systems, Sweden) で被験者の軌跡を測定した。
- 被験者の身体的特徴に加えて、個人のパーソナリティ特性を調整された German Personality Research Form (PRF; type KB; Stumpf, Angleitner, Wieck, Jackson, & Beloch-Till, 1985) 以下の 14 個の特性で評価し、高い要因妥当性と内的一貫性 (Cronbach's alpha between $r = .66$ and $r = .87$, respectively, cf. Stumpf et al., 1985) を有する。
 - 達成感、所属感、攻撃性、支配性、持久力、逃避、危害回避、衝動性、育成性、秩序、遊び、社会的認知、援助、理解

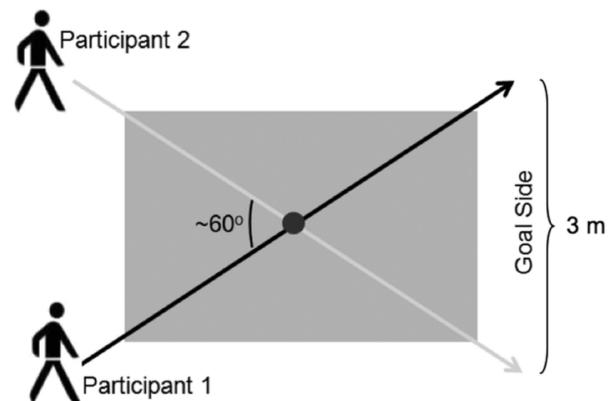


Figure 1. Experimental setup. Subjects were instructed to traverse the room diagonally. In Experiment 1, their paths crossed at an angle of about 60° . In Experiment 2 the crossing angle was 90° . The beginning and end of each arrow represent the respective start and end points. The gray square represents the tracking array (note: not drawn in scale).

- データ分析

- 各被験者について、記録されたマーカーの軌跡はオフラインで前処理された。
- 歩行ペアの衝突回避行動を定量的に評価できるように、4つのパラメータを定義した：
 - 最短距離 (minimum distance, MD)
 - 2人の被験者の最も小さい中心間距離

- 横断順序 (crossing order, CO)
 - 平均 CO < 1 : 4 人
 - 平均 CO > 2 : 5 人
 - 1 と 2 の間 : 10 人
 - 1 つのパーソナリティ特性 (育成性) は、未補正の $p = 0.05$ レベルで CO との有意な相関を示した。

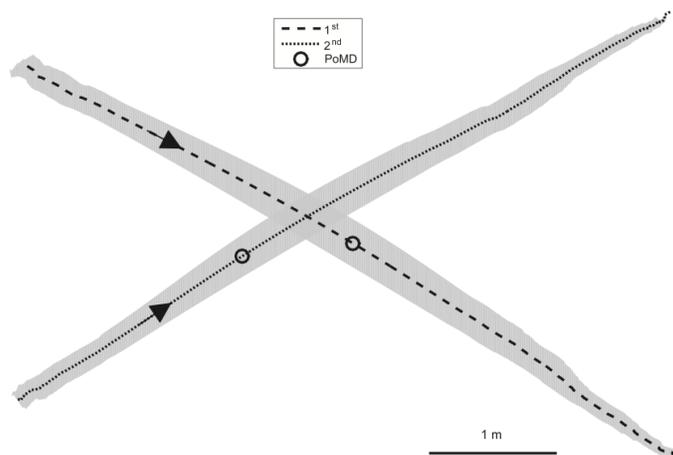


Figure 2. Walking trajectories. Average walking trajectories for the subject passing first (dashed line) and the subject giving way (dotted line) are depicted. The shaded areas surrounding the average trajectories represent the standard deviation around the mean. Circles indicate the average point of minimum distance (PoMD) of each role along the walking trajectories.

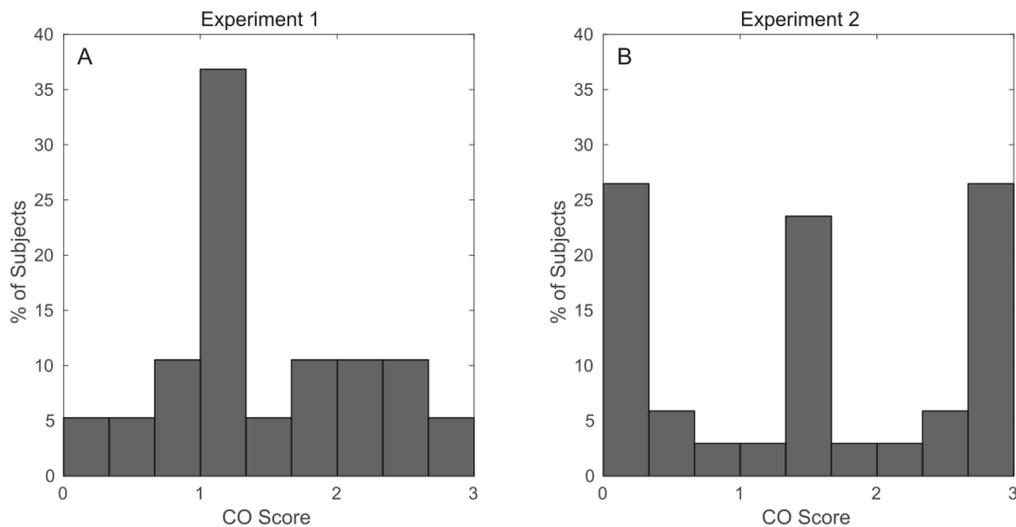


Figure 3. Distribution of crossing order (CO) scores. Scores >2 indicate a subject's preference for crossing first, whereas CO scores <1 indicate a preference for giving way. CO scores between 1 and 2 suggest flexibility in role attribution across interaction partners (for Experiment 1) and trials (Experiment 2). (A) Experiment 1. (B) Experiment 2.

- Discussion
 - 衝突回避行動と歩行者の身長、性別、個人の性格特性との相関関係を示す証拠は見つからなかった。
 - 評価した歩行パラメータは、いずれも人別のパラメータとは有意な相関を示さなかった。
 - 本研究は、性別と身長による最小通過距離と協調性の違いを報告した van Basten ら (2009) の研究結果と矛盾する。
 - 本実験では、歩行者はパートナーとの衝突を避けるように指示されたが、van Basten ら (2009) は被験者の注意をタスクから意図的にそらした。
 - van Basten ら (2009) の研究では、被験者は 180° の角度でお互いに接近したが、本実験では 60° の角度を選択した。
 - 本研究では、被験者を分類せず、自己報告の身長を区間尺度の変数として使用した。
 - 歩行者は、他の横断者をどのように回避するかについて、個々に好ましい解決策を持っているようだが、衝突回避の成功に対する役割帰属と個人の貢献は、今回の実験で測定した個人特性では説明できない。

Experiment 2

- 目的：現在の速度や方位、横断状況に入ってから移動距離などの状況的特性が、被験者のペアの衝突回避行動をどのように決定するか、横断順序や衝突回避成功への貢献度について評価することだ。
 - 衝突回避のための役割分担は、歩行者同士が接近している間に、自分と相手の現在の進路や衝突の可能性がある地点までの距離などの情報に基づいて、早い段階で交渉されるという仮説を立てた。
 - 役割に依存した衝突回避戦略の違いを見つけることを想定し、衝突のリスクを減少させるための関連性を評価することを目的とする。

Table 2

Physical Characteristics, Averaged Across All Subjects, Are Reported as Well as the Average Differences in the Physical Characteristics Within Walking Pairs

Characteristics	<i>M</i> ± <i>SD</i>	Range	Mean difference ± <i>SD</i>	Difference range
Age	24.5 ± 3.9 years	18–34	2.6 ± 2.0 years	0–8
Height	173.9 ± 10.2 cm	152–193	2.7 ± 1.9 cm	0–7
Weight	67.5 ± 10.7 kg	49–92	5.7 ± 5.7 kg	0–19

- 方法
 - 参加者：34人
 - お互いを知らず、男女平等で、年齢と身長がほぼ同じで、身体的特徴の分布が広いペア
- 実験課題と手順
 - Experiment 1 と大体同じ。
 - スタート地点からゴール地点までの歩行距離は9メートルで、被験者の進路は4.5メートル後に約90°の角度で交差している。
 - 衝突を回避するための行動の指示はない。
 - 各ペアに20回の試行（合計340回）を記録した。
- データ分析
 - 最初のデータ処理は、実験1と同じように行った。
 - 340件の試験のうち、48件は当初予測されたMD > 1mのため、除外された。

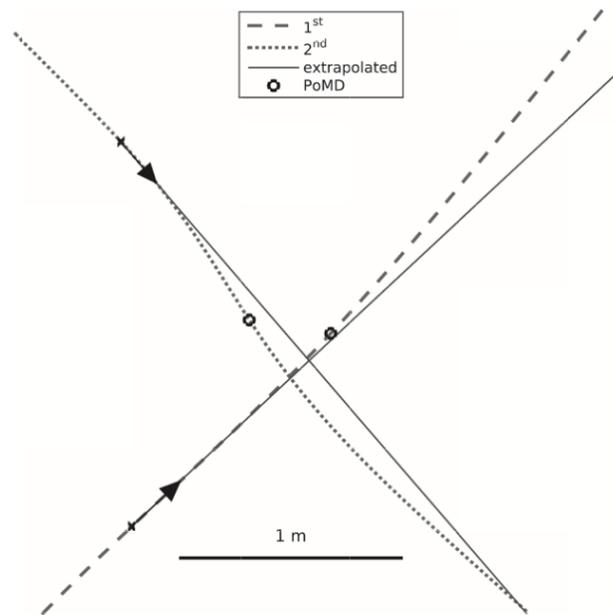


Figure 4. Extrapolation method. Linear extrapolations (solid lines) of actual walking trajectories were calculated for multiple time windows, related to when the faster of the two subjects came within a distance of 3.0, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, and 0.5 m to the point of minimum distance (PoMD). In this example, an extrapolation starting from 1.0 m distance to the PoMD is depicted. The dashed lines relates to the actual walking trajectory of the subject crossing first, whereas the dotted line relates to the actual walking trajectory of the subject giving way. Circles indicate the PoMD for both subjects.

- 最短距離ポイント (point of minimum distance, PoMD)
 - 被験者の軌跡の中で被験者間の距離が最小となる位置

- CO の予測に使用した
 - 速い方の被験者が PoMD までの距離が 3.0, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 m になった時点から、現在の速度で直進し、25 cm の窓で測定した現在のヘッディングを維持して、被験者の軌跡を未来に推測する。
- 貢献度 (contribution)
 - 衝突回避を成功させるために、「先に渡る人」と「先に譲る人」という 2 つの役割の貢献度を評価する。
 - $MD \leq 1$ m の予測では、物理的な接触なしにすれ違うことができるという事実を考慮して、より厳しい閾値 ($MD \leq 40$ cm) を適用した。
- 統計分析
 - MATLAB を用いて、t 検定と一元配置分散分析 (ANOVA) を行った。
- 結果
 - 最短距離 (minimum distance, MD)
 - 平均値 : $66.7 \text{ cm} \pm 15.9 \text{ cm}$
 - 経路調整 (path adjustment, PA)
 - 平均値 : $18.5 \text{ cm} \pm 12.3 \text{ cm}$
 - PA の開始は、ゴール地点への直線経路からの最初の大きな逸脱として定量化され、横断する被験者が最初に PoMD に到達する 2.56m/1.79 秒前、道を譲る被験者が PoMD に到達する 1.84m/1.46 秒前に検出された (Figure 5)。
 - 速度調整 (speed adjustment, SA)
 - 平均値 : $0.29 \pm 0.14 \text{ m/s}$
 - 横断順序 (crossing order, CO)
 - 平均 $CO < 1$: 12 人
 - 平均 $CO > 2$: 12 人

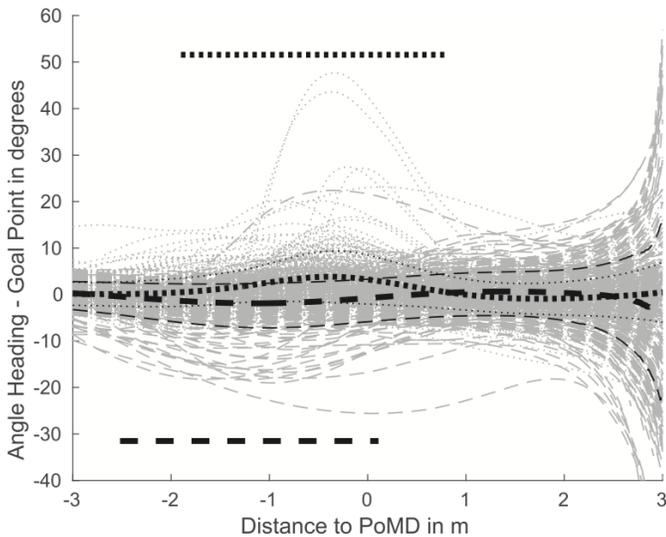


Figure 5. Path adjustments. Angles between subjects' headings and the direction to their respective goal points for all trials with an initially predicted minimum distance (MD) ≤ 1 m are plotted. Dashed traces represent subjects crossing first, dotted traces represent subjects giving way. Negative angles indicate a turn toward the other subject's walking direction (i.e., path adjustments when crossing first). Positive angles indicate a turn away from the other subject's walking direction (i.e., path adjustments when giving way). The dashed and dotted bars at the top and bottom of the graph indicate the time frame during which the mean heading angle significantly deviated from the direction straight toward the goal point ($\alpha < .01$).

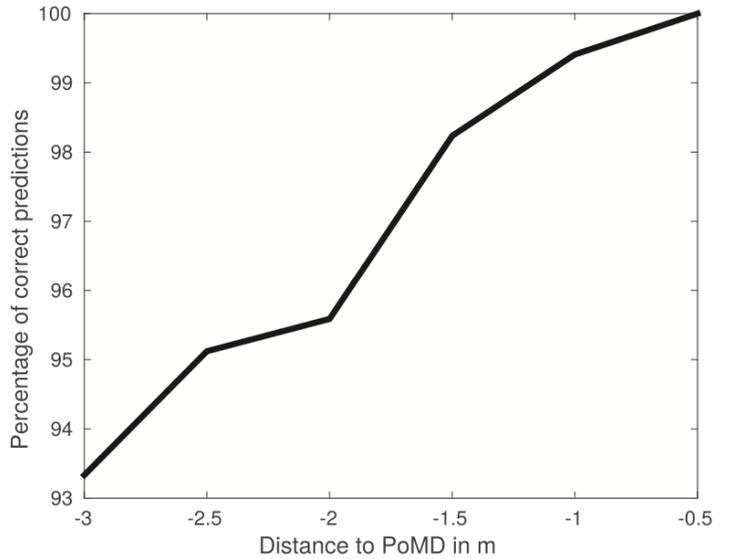


Figure 6. Prediction of the crossing order. Ratio of correct predictions of the crossing order within a trial, obtained by extrapolating the subjects' trajectories, using current position and speed at instants when the faster of the two subjects was at a certain distance from the point of minimum distance (PoMD).

- 1と2の間：10人
- 歩行者がPoMDに到達する3m前、すでに全試行の93%で未来のCOを正しく予測することができて、被験者同士が近づくにつれて自然に増加し、PoMDまでの距離が2.5mの時点で95%以上の正解率に達した (Figure 6)。
- 貢献度 (contribution)
 - 340回の試行のうち78回は、予測したMDが40cmよりも小さかった。
 - 43回 (55%) の試行では、先に渡った被験者が衝突回避戦略をとらずに最初の速度と方位を維持していたとしても、先に渡った被験者が行った進路と速度の調整だけで、40cm以上のMDを得ることができたと考えられる。
 - 先に渡った被験者だけが速度と進路を調整しても、58例 (74%) の試行で臨界距離である40cmを下回ってしまうことになる。

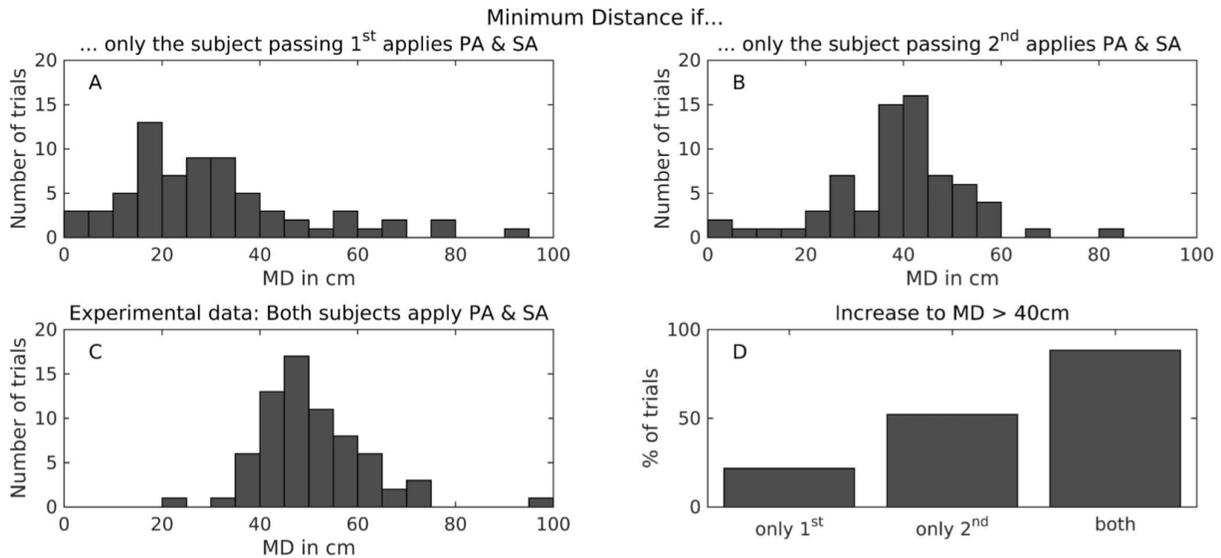


Figure 7. Contributions to collision avoidance. Distributions of minimum distances between the two pedestrians if (A) only the subject crossing first, or (B) only the subject giving way applies the path (PA) and speed (SA) adjustment as actually observed in Experiment 2, while the other subject continues walking with the current heading and speed as measured at the entrance of the tracking area. Included are only trials with an initially predicted minimum distance (MD) ≤ 40 cm ($n = 78$). (C) Distribution of MD as observed in Experiment 2 for all trials with an initially predicted MD ≤ 40 cm. (D) Percentage trials with an initially predicted MD < 40 cm, in which the observed PA and SA of either only the subject crossing first, only the subject giving way, or of both subjects led to an increase of MD to > 40 cm. While the MD typically increases sufficiently (i.e., to over 40 cm) when only the subject giving way executes the PA and SA, PA and SA performed by the subject crossing first, alone, is not sufficient in most of the cases.

• Discussion

- 衝突回避場面で、誰が先に横断するか、誰が道を譲るかといった役割分担は、最小距離地点 (PoMD) から比較的離れた位置で、正確かつ確実に予測できる。
- 衝突回避の成功に対する両方の役割の貢献度が非対称だった。
 - 2人の被験者が「最小限の軌道修正で衝突を回避する」という同じ目標を共有していると考えるのが妥当だと思われる (Basili et al, 2013)。
 - 衝突のリスクを減らすために、最初に横断する人が経路調整を開始し、共通の目標が達成されるため、道を譲る人も経路調整をしなければならない。
- 先に通過した被験者は、後に通過した被験者よりも有意に大きな割合で経路を調整していたが、26%しか最小通過距離を十分に伸ばすことができない。道を譲った被験者の試行では55%に達した。

General Discussion

- 本研究では、人間の運動における衝突回避を成功させるための対人協調、人と状況に応じた特性が与える影響を、直接対比させた2つの実験を行った。
- 2つの実験で共通して見られたのは、横断順序のスコアが個々の被験者に広く分布していたことだが、個人の好みの分布は異なっていた。
 - この違いは、2つの実験で適用されたペアリング戦略の違いによって説明できる。
- 双方の歩行者が交差点に到着する順番を正しく予測できた場合、2番目に到着する予定の歩行者が道を譲って他の被験者を先に渡らせれば、最適な役割分担を容易に選択することができる。人間は確かに動く物体の軌道を非常に正確に予測することができる (Tresilian, 1999)。
- 交差順序の予測可能性が高いと、衝突を回避するための相手の行動の予測が容易になり、その結果、この共同作業における対人協調が促進される。
- 先に横断した被験者の進路調整は「象徴的な手掛かり」 (Sebanz & Knoblich, 2009) となり、衝突回避の成功は、道を譲った被験者が自分の進路を十分に調整できるかどうかにも大きく依存する。
- そのためには、歩行者が目の前の課題について共通の表現を持っているが必要とする。
- 今回の結果は、Gibson の視覚知覚の生態学的理論 (Gibson, 1979) を裏付けるものである。歩行者が共有環境で他の歩行者の進路を予測できる精度は、共同行動空間が、特定の時間に自分の視野内にあるもののスナップショットとしてではなく、全体として知覚されるという考え方を裏付けるものである。

Conclusions

- 実験の結果、人間の運動において、衝突回避を成功させるための対人協調は、身体的特性、性格的特性などの個人的特性に主に支配されるのではなく、環境の特性、特に歩行者の相対的な状況特性に支配されると結論づけた。
- このような状況特性は、衝突回避行動が始まる前から、歩行者のペア内でもペア間でも非常に予測可能である。